



Siembra
ISSN: 1390-8928
ISSN: 2477-8850
siembra.fag@uce.edu.ec
Universidad Central del Ecuador
Ecuador

Agricultura en el Cono Sur ¿Qué se conoce, qué falta por conocer?

García, Fernando O.

Agricultura en el Cono Sur ¿Qué se conoce, qué falta por conocer?

Siembra, vol. 2, núm. 1, 2015

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=653869224014>

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v2i1.1443>

Agricultura en el Cono Sur ¿Qué se conoce, qué falta por conocer?

Agriculture in the South Cone ¿What is known, what needs to be known?

Fernando O. García
IPNI Cono Sur, Argentina

Resumen: Las crecientes demandas de alimentos a nivel global han impulsado la producción de granos en los países del Cono Sur (Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay). El aumento de la producción de granos de los últimos 20 años se ha basado principalmente en una fuerte expansión del área sembrada, en especial la de soja, a partir de la incorporación de nuevas áreas y del cambio de uso de la tierra con una drástica reducción de las áreas bajo pasturas y, en menor medida, por el incremento en los rendimientos. Si bien la región muestra interesantes incrementos de rendimientos de trigo y maíz con respecto a los estimados mundiales, los mismos no serían suficientes para satisfacer la demanda para el año 2050 que requiere que éstos se dupliquen. La expansión y crecimiento de la producción de granos en el Cono Sur presentan aspectos positivos y negativos. Entre los aspectos positivos se pueden incluir los aumentos en producción con el consecuente beneficio económico y social, el desarrollo de la industria y la mayor seguridad alimentaria. Sin embargo, la expansión del área de cultivo y el crecimiento de la producción ha generado costos y externalidades negativas en aspectos ambientales, económicos y sociales entre los que se pueden incluir erosión hídrica y eólica, salinización de suelos, desertificación, reducción de los contenidos de la materia orgánica, pérdida de fertilidad de los suelos, pérdida de estructura y compactación de suelos, contaminación difusa de aguas, suelos y aire, presencia de malezas resistentes, pérdidas de biodiversidad, reducción de efectividad y eficiencia de recursos e insumos, concentración de tierras y pérdidas de fuentes de empleo. Muchos de estos costos y externalidades han contribuido a que los rendimientos de los cultivos se hayan estancado en muchos agroecosistemas de la región. En este artículo se discuten aspectos relacionados al manejo de suelos y cultivos y de los sistemas de producción en cuatro países del Cono Sur en lo que se refiere a: 1) su compleja actualidad (que se conoce), y 2) conceptos y líneas de trabajo que podrían contribuir a una agricultura sostenible (¿qué se debe conocer?).

Palabras clave: producción de granos, externalidades agrícolas, agricultura intensiva, agricultura sustentable, Cono Sur.

Abstract: The growing global demand for food has promoted grain production in four countries from the South Cone (Argentina, Bolivia, Paraguay, and Uruguay). The increment in productivity of the last 20 years has been based mainly in aggressive land incorporation to agriculture, especially with soybeans, and a drastic reduction of the areas under pastures, and, in a minor scale, for yield increments. Yield increments of wheat and corn in the region are interesting; however, they will not be enough to satisfy the demand by 2050 which requires duplication in yields. The South Cone land expansion and grain yield increments have had positive and negative impacts. Among the positive impacts are the increased productivity and the consequent social and economic benefit, industry development, and greater food security. On the other hand, expansion and yield increment have also had economic and social negative impacts such as water and wind erosion, soil salinization, decrements in soil organic matter content, desertification, soil compaction, soil fertility reduction, diffuse soil, water and air pollution, presence of resistant weeds, biodiversity losses, reduction in inputs and resources use efficiency, and land concentration and reduction in job opportunities. Several of these negative impacts have contributed to the yield stagnation in many agro systems of the region. This article discusses aspects related to soil and crop management

Siembra, vol. 2, núm. 1, 2015

Universidad Central del Ecuador,
Ecuador

Recepción: 15 Junio 2015
Aprobación: 22 Julio 2015

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v2i1.1443>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=653869224014>

in the production systems of the region regarding: 1) its actual complexity (what is known), and 2) concepts and lines of work which can contribute to a sustainable agriculture (¿what needs be known?).

Keywords: grain production, externalities of agriculture, intensive agriculture, Southern Cone, sustainable agriculture.

1. Introducción: Marco global de referencia

La creciente demanda global de alimentos, forrajes, fibras, biocombustibles y biomateriales se atribuye al sostenido crecimiento demográfico, la escasez de tierras agrícolas, y al fuerte crecimiento de los países emergentes (China e India, principalmente), con una creciente urbanización e incorporación de millones de personas a las clases medias (Adámoli, 2013). La ONU ha estimado una población superior a los 9 mil millones de habitantes para el 2050, siendo los países en vías de desarrollo los que contribuirán en mayor medida a ese aumento. Asimismo, se estima que el 70% de la población será urbana hacia 2050, comparada con aproximadamente un 50% en el 2010 (Buhaug & Urdal, 2013; FAO, 2013). Al crecimiento de la población de los países en vías de desarrollo y la creciente urbanización, se asocia un cambio en las dietas alimenticias con previsión de incrementos en el consumo de carnes, leche y derivados y aceites vegetales.

Entre 1961 y 2010, la población mundial paso a ser más que el doble, pero el incremento de la producción global de alimentos fue aún superior, a pesar de una reducción del 50% del área cultivable por persona, registrándose un aumento en la producción anual per cápita del 16% (Vilella & Renis, 2013). A la mayor productividad de la tierra se sumó una mayor productividad del trabajo que aumentó un 48% a nivel mundial para el mismo periodo, condición que Vilella y Renis (2013) describen como conocimiento agregado por ha y hora a través de las mejoras tecnológicas, organizacionales e institucionales. Los mismos autores indican que la mayor productividad ha resultado en menores precios para los consumidores. Sin embargo, los incrementos en producción y productividad han sido muy heterogéneos y la distribución de alimentos y otros productos de la agricultura entre la población mundial sigue siendo limitante para muchas regiones y aún para áreas de un mismo país.

El crecimiento en producción y productividad registrado en los últimos 50 años ha generado costos y externalidades negativas a nivel económico, social y ambiental. El desafío para la humanidad es reducir el impacto de estos costos y externalidades y evitar que los mismos se amplifiquen y/o que se sumen nuevos a los ya existentes (Sutton *et al.*, 2013). A este desafío se suma el cambio climático y su potencial impacto en la producción y en los recursos naturales, económicos y sociales (Magrin, 2013; St. Clair & Lynch, 2010; Wheeler & von Braun, 2013).

Se espera que regiones como África, Latinoamérica y el sudeste de Asia contribuyan significativamente a suplir las demandas a través de la expansión del área bajo cultivo y del aumento de la productividad. La

expansión de la agricultura hacia áreas aún no explotadas, a través de la deforestación e incorporación de ecosistemas más frágiles, constituye una amenaza a la sostenibilidad de los sistemas. El cambio de uso de las tierras constituye un aspecto principal en el manejo y conservación de los recursos naturales (agua, suelo y aire), con impactos económicos, ambientales y sociales. La alternativa es impulsar el crecimiento de la productividad en las tierras actualmente en uso y no exponer nuevas tierras a costos y externalidades tales como la degradación de los suelos debida a la erosión eólica e hídrica, la pérdida de fertilidad por extracción de nutrientes, la salinización, la desertificación, y la contaminación por uso inadecuado de insumos, entre otros.

En este artículo se discuten aspectos relacionados al manejo de suelos y cultivos y de los sistemas de producción en general en cuatro países del Cono Sur de Latinoamérica en lo que se refiere a: 1) su compleja actualidad, que se conoce, y 2) conceptos y líneas de trabajo que podrían contribuir a una agricultura sostenible, ¿qué debemos conocer?

2. El marco de referencia regional: lo que se conoce

Las crecientes demandas a nivel global han impulsado la producción de granos en los países de América del Sur, especialmente en el Cono Sur (Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay). Entre 1991 y 2011, los cuatro países aumentaron la producción de trigo, maíz y soya en aproximadamente 85, 230 y 380 %, respectivamente. El aumento de la producción de granos de los últimos 20 años se ha basado principalmente en una fuerte expansión del área sembrada, en especial la de soya, a partir de la incorporación de nuevas áreas y del cambio de uso de la tierra con una drástica reducción de las áreas bajo pasturas; y, en menor medida, por incremento en los rendimientos (Figura 1).

La Tabla 1 muestra las tasas de variación en área, rendimiento y producción de trigo, maíz y soya de los cuatro países en el período 1991-2011. La producción de trigo se incrementó a partir de aumentos en el rendimiento de Uruguay y Argentina y la expansión en área en Paraguay y Uruguay. En el caso de maíz, el crecimiento en producción se basó en incrementos en área de Argentina y Paraguay y, en menor medida, de Bolivia y en el rendimiento de Argentina y Uruguay. Finalmente, la constante expansión en superficie explica el marcado incremento en la producción de soya, registrándose incrementos moderados en los rendimientos promedio de Argentina y, en menor medida, de Uruguay.

El incremento del área sembrada de soya se observa comparando los cambios en la proporción del área bajo esta leguminosa con respecto a trigo y maíz. En el quinquenio 2007-2011, se sembraron 31.2 millones de ha de los tres cultivos en el Cono Sur, de las cuales 68, 18 y 14% fueron sembradas con soya, trigo y maíz, respectivamente; mientras que en el quinquenio 1997-2001 se habían sembrado 20.3 millones de ha con 49, 33 y 18% de soya, trigo y maíz, respectivamente.

Las tasas de incremento de los rendimientos se pueden comparar con las tasas determinadas recientemente a nivel mundial (Ray, Mueller,

West, & Foley, 2013). En el caso de trigo y maíz, los incrementos de los cuatro países son superiores a los estimados a nivel mundial. Los incrementos en trigo han sido de 23-69 kg/ha/año (Tabla 1) y el rango estimado a nivel mundial es de 4-52 kg/ha/año. En maíz, el incremento para los cuatro países es de 51-160 kg/ha/año, y el rango estimado a nivel mundial es de 41-124 kg/ha/año. En el caso de la soya, el incremento en los cuatro países varió de 24 a 31 kg/ha/año, mientras que el rango estimado mundial es de 6-50 kg/ha/año. Si bien la región muestra interesantes incrementos de rendimientos de trigo y maíz con respecto a los estimados mundiales, los mismos no serían suficientes para satisfacer la demanda del 2050 que requiere que éstos se dupliquen en los próximos 40 años. En el caso de soya, las tasas de aumento de rendimiento son bajas, en especial en Bolivia, Paraguay y Uruguay, por lo que sería de interés regional determinar qué factores están limitando este crecimiento.

Las evaluaciones de las tasas de incremento de rendimiento de los cultivos deben realizarse considerando los rendimientos actuales y los alcanzables para cada área ecológica homogénea dentro de cada país, es decir, sabiendo qué rendimiento se puede alcanzar dadas las condiciones de clima, potencial genético y, en el caso de agricultura de secano, agua (M. K. van Ittersum & Rabbinge, 1997). La brecha entre los rendimientos actuales y los alcanzables o potenciales ha sido definida y estudiada por varios autores (Lobell, Cassman & Christopher, 2009; M. van Ittersum *et al.*, 2013). La definición del rendimiento alcanzable a nivel de productor para cada área ecológicamente homogénea y la brecha de rendimiento con respecto al logro actualmente permiten hacer una evaluación cualitativa de las tasas de incremento actuales y las expectativas para el futuro.

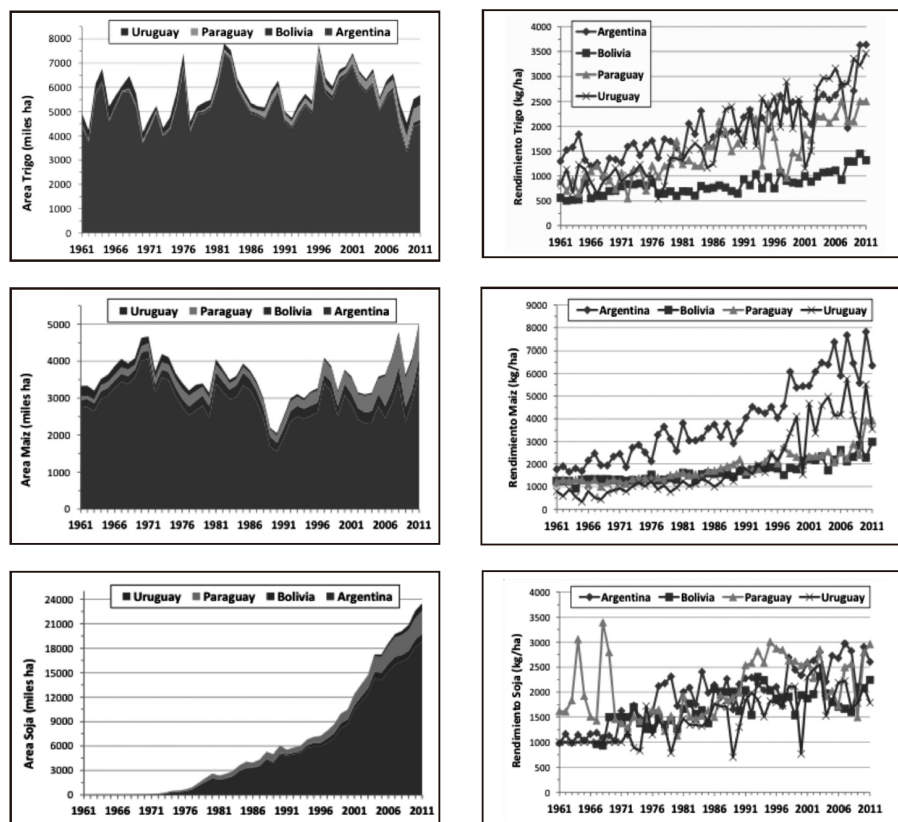


Figura 1

Área sembrada y rendimientos promedio de trigo, maíz y soja en los cuatro países del Cono Sur (Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay) en el periodo 1961-2011 (FAO, 2013).

Las brechas de rendimiento se pueden estimar por medio de diferentes métodos: ensayos de campo, concursos de rendimientos, encuestas de máximos rendimientos, modelos de simulación de cultivos a nivel local, o aproximaciones estadísticas empíricas y modelos de simulación a nivel global (M. van Ittersum *et al.*, 2013). Cuando no se cuenta con información suficiente, se pueden utilizar alternativas más simples como, por ejemplo, funciones de línea límite basadas en la relación de los rendimientos con el agua disponible para el cultivo como la propuesta para cereales (V. O. Sadras & Angus, 2006). Esta función estima rendimientos alcanzables de trigo y maíz en función del abastecimiento de agua (agua en el suelo más precipitaciones y riego) en determinada localidad. Por ejemplo, para una disponibilidad de agua de 500 mm durante un ciclo de cultivo de maíz, el rendimiento alcanzable sería de 9,680 kg/ha, mientras que para 300 mm de agua disponible en el ciclo del trigo, el rendimiento alcanzable sería de 5,280 kg/ha (Rendimiento = 22 kg/ha/mm * (Agua disponible - 60 mm)).

3. Causas y consecuencias del crecimiento de los cultivos de grano en el Cono Sur

Las expansión y crecimiento de la producción de granos en el Cono Sur presentan aspectos positivos y negativos (Viglizzo *et al.*, 2011). Entre

los aspectos positivos se pueden incluir, los aumentos en producción con el consecuente beneficio económico y social para los productores y para la región, el desarrollo de industrias relacionadas y la mayor seguridad alimentaria. Sin embargo, en muchas situaciones, la expansión del área de cultivo y el crecimiento de la producción ha generado costos y externalidades negativas en aspectos ambientales, económicos y sociales como se discutió en párrafos anteriores. Entre los costos y externalidades se pueden incluir la erosión hídrica y eólica, salinización de suelos, desertificación, reducción de los contenidos de la materia orgánica, pérdida de fertilidad de los suelos, pérdida de estructura y compactación de suelos, contaminación difusa de aguas, suelos y aire, presencia de malezas resistentes, pérdidas de biodiversidad, reducción de efectividad y eficiencia de recursos e insumos, concentración de tierras y pérdidas de fuentes de empleo. Muchos de estos costos y externalidades han contribuido a que los rendimientos de los cultivos se hayan estancado en muchos agroecosistemas de la región.

Tabla 1
Tasas anuales de incremento en área, rendimiento y producción de trigo, maíz y soya en Argentina, Bolivia, Paraguay y Uruguay. Periodo 1991-2011. Elaboradas a partir de datos de FAOSTAT (FAO, 2013).

Cultivo	Variable	Argentina	Bolivia	Paraguay	Uruguay
Trigo	Área, miles ha/año	-30.5	2.0	18.5	12.5
	Rendimiento, kg/ha/año	49	23	35	69
	Producción, miles t/año	156.8	5.5	49.5	52.8
Maíz	Área, miles ha/año	31.0	5.8	33.3	0.6
	Rendimiento, kg/ha/año	157	51	67	160
	Producción, miles t/año	594.3	28.7	120.2	13.0
Soya	Área, miles ha/año	774.8	40.8	120.7	38.3
	Rendimiento, kg/ha/año	31	-1	-24	9
	Producción, miles t/año	2199	80.4	272.2	73.3

Los beneficios, los costos y las externalidades se deben a causas que se deben reconocer y enfrentar para poder generar sistemas de producción efectivos y eficientes que contribuyan a la seguridad alimentaria y a la provisión de fibras, biomateriales y biocombustibles a nivel regional y global, preservando y mejorando la condición de vida de comunidades rurales y urbanas y la condición de los recursos ambientales, en síntesis buscando el paradigma de sostenibilidad económica, social y ambiental.

En los últimos 20 años, numerosas tecnologías de manejo de los cultivos y de producción de insumos contribuyeron al incremento de los rendimientos, así como a la expansión de cultivos de granos hacia tierras menos productivas. Estas tecnologías se desarrollaron a partir de

la evolución del conocimiento y se adaptaron rápidamente en la región. Se pueden citar a la genética, mecanización, manejo de plagas, malezas y enfermedades, manejo del cultivo, siembra directa, fertilización y manejo específico por sitio.

Entre las causas de los costos y las externalidades negativas se pueden mencionar a la expansión de la frontera agrícola hacia tierras y ecosistemas frágiles, sistemas de producción con baja eficiencia y efectividad en el uso de recursos e insumos (por ejemplo los sistemas de monocultivo), menor área bajo pasturas, balances de nutrientes negativos, falta de programas de conservación de suelos, alto precio de la tierra y subsidios e impuestos distorsivos a nivel regional e internacional.

Este desarrollo de la agricultura en el Cono Sur se dio dentro del proceso del cambio climático, cuyo efecto puede tener consecuencias negativas para la agricultura a nivel económico, ambiental y social. Entre las principales consecuencias están la mayor frecuencia de inundaciones y sequías, aumento de incendios forestales, pérdida de biodiversidad, aumento de enfermedades fúngicas y bacterianas, aparición de nuevas plagas de insectos en zonas más secas, acortamiento del ciclo de los cultivos y disminución de la productividad en zonas cálidas y templadas cálidas.

Sin embargo, también existen consecuencias positivas como el aumento de productividad en zonas templadas húmedas (Magrin, 2013; St. Clair & Lynch, 2010; Wheeler & von Braun, 2013). Estos impactos generan un escenario altamente variable para la producción agrícola y se hace necesario desarrollar estrategias de adaptación en el manejo de suelos, cultivos y el agroecosistema en general. La agricultura debe contribuir a la mitigación del cambio climático reduciendo la deforestación y la emisión de gases efecto invernadero (GEI) o mediante el secuestro de carbono (C) en el suelo. La agricultura contribuye con 10-12 % del total mundial de las emisiones de GEI, incluyendo aproximadamente al 50 y 60% de la emisión total de CH₄ y N₂O, respectivamente. Estos son gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento (Smith *et al.*, 2007). Las emisiones de GEI pueden ser reducidas en términos absolutos y/o por unidad de producto mediante la implementación de mejores prácticas de manejo (Burney, Davis, & Lobell, 2010; Snyder, Bruulsema, Jensen, & Fixen, 2009).

A continuación se discuten brevemente algunas causas y sus consecuencias positivas o negativas, relacionadas al manejo de suelos y de cultivos y a la producción de granos en el Cono Sur:

3.1 Alta adopción de siembra directa

El Cono Sur es la región de mayor adopción de siembra directa en sistemas de producción de granos (50% a 90% del área cultivada según la zona). La siembra directa permitió estabilizar y elevar los rendimientos en muchas de estas zonas de la región y logró también incorporar nuevas áreas de producción. Los sistemas de siembra directa son menos afectados por la erosión y contribuyen al desarrollo de una mayor actividad biológica en el suelo y son más eficientes en el uso del agua.

3.2 Uso de genética líder

En el Cono Sur se han incorporado masivamente variedades e híbridos de alta producción e incluso genes de resistencia a insectos y herbicidas que reducen costos de producción, facilitan las labores y reducen el impacto ambiental de plaguicidas (Vilella & Renis, 2013).

3.3 Falta de control de procesos erosivos

A pesar de la incorporación masiva de la siembra directa en numerosas zonas, la falta de implementación de prácticas y/o estructuras de control de la erosión ha resultado en significativas pérdidas de suelo y en consecuencia de la producción (Cisneros, 2012).

3.4 Alta frecuencia de soya en la rotación y/o monocultivo

Como se comentó previamente, los cuatro países evaluados en el Cono Sur presentan una muy alta frecuencia de soya en los sistemas de producción. Las condiciones de mercado (precio de granos e insumos y costo de la tierra) han promovido el predominio de soya, existiendo hasta sistemas de monocultivo. La falta de rotación con otros cultivos resulta en un bajo aporte de residuos con alto contenido de C que enriquezcan el suelo con materia orgánica, genera balances negativos de nutrientes, promueve la infestación con malezas, plagas y enfermedades, estimula los procesos de compactación del suelo y reduce la capacidad del sistema de ofertar servicios ecosistémicos (Alvarez, 2013; Andriulo & Cordone, 1998; Bayer, Dieckow, & Carvalho, 2010; Studdert & Echeverría, 2000). Es importante destacar que la soya constituye un cultivo clave en los agroecosistemas de la región por su gran valor económico (en aceite y proteína), por su capacidad de fijar nitrógeno (N) por vía simbiótica y por su rol como antecesor de otros cultivos. Por lo tanto, es muy probable que siga siendo el cultivo más importante en la región, pero sin duda que se beneficiará de la rotación con otros cultivos.

3.5 Manejo de nutrientes

La eficiencia de manejo de los nutrientes puede evaluarse a través de distintos índices. Las estrategias de manejo orientadas a optimizar el uso de nutrientes deben evaluar varios de estos índices en forma simultánea para comprender el impacto de éstas en la producción. Dos indicadores de eficiencia de uso de nutrientes muy útiles para el análisis a nivel regional son el balance parcial de nutrientes (BPN = cantidad de nutriente removido/dosis de nutriente aplicado) y la productividad parcial del factor (PPF = rendimiento/dosis de nutriente aplicado).

Los balances de nutrientes para los cultivos varían entre países y dentro de los países a causa de diferencias en suelos, cultivos, prácticas de manejo, rendimientos y adopción de tecnología. En Argentina y Bolivia,

y en algunos casos de Paraguay y Uruguay, son comunes valores de BPN superiores a 1 (Cano, Ernst, & García, 2006; García & González Sanjuan, 2013). Estas situaciones de extracción superior a la aplicación han resultado, por ejemplo, en apreciable reducción de los niveles de fósforo (P) extractable en una gran parte de la región productora de granos de Argentina (Sainz Rozas, Echeverría & Angelini, 2012).

En general, dosis de nutrientes menores a las necesarias pueden generar altos valores de BPN y de PPF indicando situaciones de sobre-extracción de nutrientes que resultan en pérdidas de fertilidad del suelo. Bajos valores de BPN y PPF pueden indicar que las dosis aplicadas son excesivas, lo que puede llevar a problemas de contaminación. Ambos extremos afectan seriamente la eficiencia de uso de nutrientes y efectividad del sistema.

La Figura 2 muestra la evolución de las estimaciones de BPN y PPF para N y P de trigo, maíz y soja en Argentina para el periodo 1993-2012. Se puede observar que los valores de BPN de N y P en trigo y maíz se han aproximado a 1.0 en los últimos años indicando que se logra reponer el N y P extraídos en el grano. Los valores de PPF de N de maíz promedian 79 kg de maíz por kg de N aplicado, nivel que se considera adecuado (Dobermann & Cassman, 2002). En el caso de la soja, el BPN de P promedió un valor de 4.0 en las últimas campañas indicando que se extrae cuatro veces más P en el grano que la cantidad que se repone vía fertilización. Esta observación de sub-fertilización fosfatada en soja se confirma al contrastarla con el valor de PPF de P que, si bien se ha reducido a lo largo de los años, aún tiene en valores altos (742 kg de soja por kg de P aplicado).

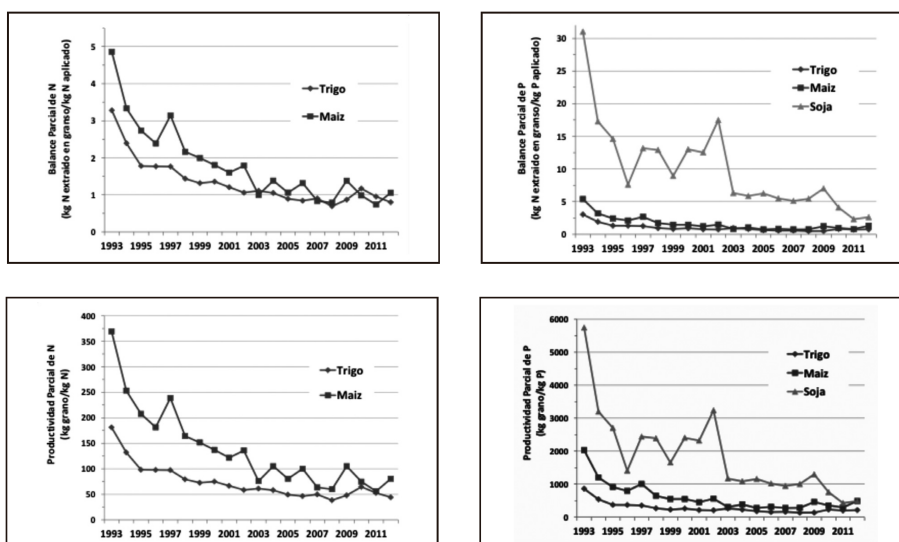


Figura 2

Evolución del balance parcial de N para trigo y maíz y de P para trigo, maíz y soja, y de la productividad parcial de N para trigo y maíz y de P para trigo, maíz y soja en Argentina desde 1993 a 2012. Elaborado en base a datos de MinAgri y Fertilizar AC.

4. ¿Qué se debe conocer?

Una agricultura sostenible en lo económico, ambiental y social debería responder a los desafíos planteados previamente. Dicha agricultura requiere del uso adecuado de la tierra (ordenamiento territorial), el mantenimiento y/o mejoramiento de los

recursos suelo, agua y aire, la reducción de los impactos ambientales negativos y el desarrollo económico y social de las comunidades involucradas en el proceso productivo. El concepto de intensificación sostenible, o intensificación productiva sostenible, está incluido dentro del marco de agricultura sostenible con un enfoque dirigido al incremento de la producción para satisfacer las crecientes demandas globales, sin aumentar la superficie cultivada, con mínimo impacto ambiental y buscando el desarrollo social a través de enfoques alternativos y/o complementarios (FAO, 2011; Garnett *et al.*, 2013; Tilman, Balzer, Hill, & Befort, 2011).

La intensificación sostenible puede beneficiar a productores a todas las escalas, desde pequeños a grandes, en consecuencia a toda la sociedad. Entre las prácticas esenciales de sistemas ecológicamente intensos están las rotaciones, ausencia de remoción del suelo (siembra directa), prácticas que eviten y/o reduzcan los procesos erosivos, mayor ocupación del suelo, nutrición balanceada y manejo integrado de plagas, malezas y enfermedades. La implementación de estas prácticas y el desarrollo de respuestas a los dinámicos desafíos que aparecen en los sistemas de producción hacen que sea necesario conocer los componentes del sistema, su estado y los procesos y mecanismos de funcionamiento de los sitios en los cuales están involucrados (suelo, planta, rizósfera, interacción genotipo-ambiente). El mejor conocimiento de los sistemas, componentes y procesos permite integrarlos, responder a los desafíos, aprovechar las oportunidades, dar valor agregado a la producción, mejorar los procesos de reciclado, validar prácticas y certificar procesos.

A continuación se discuten brevemente algunos aspectos relacionadas con el manejo de suelos y cultivos en la producción de granos en el Cono Sur en los cuales se debe enfatizar y/o en los que hay que continuar los trabajos de investigación y/o extensión para lograr una intensificación ecológica dentro de una agricultura sostenible.

4.1 Brechas de rendimiento

Dado que las posibilidades de expansión del área agrícola en el Cono Sur son escasas, la producción total de granos en esta región debería basarse en la búsqueda de rendimientos más altos para evitar la expansión de la agricultura a ecosistemas frágiles. Como se discutió en párrafos anteriores, el incremento de los rendimientos pasa por la reducción de las brechas entre rendimientos actuales y los alcanzables, considerando como alcanzables a aquellos que pueden obtenerse en el contexto diario de producción, usualmente del 75 al 85% del rendimiento potencial (

Cassman, 1999; Hall, C. Feoli, Ingaramo & Balzarini, 2013; M. van Ittersum *et al.*, 2013).

La reducción de las brechas de rendimiento en el Cono Sur probablemente involucre la adopción de prácticas y tecnologías ya probadas por otros productores, incluyendo el uso de materiales genéticos de alto potencial, la fecha y densidad de siembra ajustadas a la variedad/híbrido y ambiente, siembra cuidadosa, control integrado de plagas y enfermedades, nutrición correcta. Existen numerosos ejemplos de incrementos de rendimiento por arriba de los obtenidos en una zona determinada cuando las prácticas y tecnologías ya probadas se adoptan simultáneamente, aprovechando los efectos interactivos y complementarios que existen entre los factores de producción. A nivel regional se debería determinar los rendimientos alcanzables y, a partir de ellos, estimar las brechas existentes con los rendimientos actuales, para de esta forma determinar las áreas de manejo de suelos y cultivos en las que debería trabajar.

4.2 Rotaciones y cultivos de cobertura

Sin lugar a dudas, un punto central de los sistemas agrícolas y su intensificación sostenible es el manejo de las rotaciones de los cultivos y la intensificación del factor de ocupación del suelo, es decir más cultivos por año que permitan una mayor captura de C y eficiencia de uso de los recursos (Caviglia & Andrade, 2010). La alternancia de cultivos a través de rotaciones presenta numerosas ventajas productivas, económicas, ambientales y sociales (Bayer *et al.*, 2010 ; Quincke, Sawchik & Morón, 2010; Salado-Navarro & Sinclair, 2009; Studdert & Echeverría, 2000). Los planes de uso y manejo del suelo permiten utilizar herramientas regulatorias que sistematicen las rotaciones de acuerdo a las características específicas del sitio para controlar procesos de degradación como la erosión u otros (Hill & Clerici, 2011).

De los cuatro países considerados, las zonas de producción de granos de Bolivia y Paraguay, con mayores temperaturas e incluso precipitaciones, disponen de un mayor número de especies para utilizar como cultivos de cobertura entre los cultivos de producción. En todos los casos, el manejo de rotaciones y cultivos de cobertura es un área del conocimiento e información que debe actualizarse de manera constante en toda la región.

4.3 Gestión del agua

En la agricultura de secano y de riego, el agua es el principal limitante para la producción por lo su uso eficiente es esencial para lograr sistemas sostenibles (Frrank & Viglizzo, 2012). El agua dulce es un recurso limitado a nivel mundial y la agricultura es responsable del 92% de la huella hídrica global (Hoekstra & Mekonnen, 2012). El uso de variedades e híbridos más eficientes en el uso del agua y/o tolerancia a sequía, la adecuada fecha de siembra, la correcta nutrición, el control integrado

de plagas, malezas y enfermedades, las rotaciones de cultivos y la buena condición física del suelo contribuyen a lograr altas eficiencias de uso del agua disponible (V. Sadras, Grassini, & Steduto, 2011). Conocer, valorar y mejorar la eficiencia de uso de agua y reducir la huella hídrica de los sistemas de producción es una línea de trabajo prioritaria.

4.4 Nutrición correcta de suelos y cultivos

La adopción de las mejores prácticas de manejo de nutrientes y fertilizantes siguiendo el Manejo Responsable de los 4Rs (los cuatro requisitos) puede generar mayor eficiencia de uso de los nutrientes disponibles y/o aplicados (Bruulsema, Fixen, & Sulewski, 2013). La adopción de la dosis correcta aplicada con la fuente correcta, en el momento correcto y la ubicación correcta permite maximizar la producción y la eficiencia de uso de otros recursos e insumos, mantener y/o mejorar la fertilidad de los suelos y evitar problemas de contaminación de aguas, suelos y aire.

El manejo responsable de los 4Rs contribuirá a reducir las brechas de rendimiento en numerosas agroecosistemas del Cono Sur e influirá directamente en el mantenimiento y/o mejora de la fertilidad de los suelos.

4.5 Potencial del mejoramiento y la biotecnología

La biotecnología, como herramienta del mejoramiento genético, ha permitido avances significativos con variedades e híbridos de mayor potencial de rendimiento, mayor estabilidad y resistencia a insectos y herbicidas que facilitan el control de plagas y malezas y reducen el uso de agroquímicos. Se esperan nuevos avances que podrían incorporar materiales con mayor tolerancia a sequía o mayor eficiencia del uso de N. Asimismo, los desarrollos en microorganismos de la rizosfera deberían mejorar en abastecimiento y captación de agua y nutrientes por las raíces.

4.6 Expansión y optimización del manejo por sitio específico

El desarrollo y la implementación de la agricultura por sitio específico han avanzado notablemente en los últimos 15 años en los países del Cono Sur. Esta tendencia debería continuar y multiplicarse para lograr un manejo eficiente y efectivo de recursos e insumos en cada sector del lote o predio agrícola.

4.7 Integración y monitoreo del sistema de producción

Los sistemas de producción agrícolas tienen una gran cantidad de componentes y procesos y las prácticas de manejo ejercen efectos múltiples, que van más allá del componente o proceso que se afecte inmediatamente. Existen abundantes ejemplos de efectos interactivos de

prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso o productividad de recursos e insumos agrícolas. Ejemplos son la fertilización con azufre (S) que incrementa la eficiencia de uso del N (Salvagiotti, Castellarin, Miralles, & Pedrol, 2009), la fertilización NPS que optimiza la eficiencia de uso de agua (Correndo, Boxler & García, 2012), el espaciamiento entre hileras que mejora la eficiencia de uso de N (Barbieri, Echeverría, Saínz Rozas & Andrade, 2008), la nutrición que incrementa a la tolerancia de los cultivos a las enfermedades (Huber & Graham, 1999).

Los sistemas deben ser evaluados a través de indicadores productivos, pero simultáneamente también con indicadores socioeconómicos como la rentabilidad, la estabilidad de la producción, la eficiencia de uso de la energía, la productividad del trabajo, el ingreso del productor, la capacidad de proveer empleo y las condiciones de trabajo; e indicadores ambientales como la calidad del agua y el aire, la biodiversidad, la provisión de otros servicios del ecosistema, la huella del C y del agua y la emisión de GEI.

4.8 Producción de calidad, con mayor valor agregado

La sociedad demanda de manera creciente productos de calidad superior, con trazabilidad, certificados desde el origen de la producción. Este es un desafío, pero al mismo tiempo una oportunidad para el sector agrícola para encontrar un mayor valor agregado de sus productos. El valor agregado se obtiene a través de la industrialización de la producción in situ, con programas de certificación de procesos y de calidad, y/o a través de la integración de las cadenas productivas, con los consecuentes beneficios económicos y sociales para las distintas regiones.

4.9 Procesos de contaminación de aguas, suelo y aire

La pérdida de nutrientes como N y P o de plaguicidas hacia cursos de agua superficiales o subsuperficiales, su acumulación en suelos, o las pérdidas hacia la atmósfera generan externalidades negativas que deben eliminarse o reducirse a un mínimo. Se debe conocer la situación actual de estos tres recursos y cuantificar a nivel regional los procesos que generan estas externalidades. A partir de ese conocimiento, el uso de las mejores prácticas de manejo (MPMs) de nutrientes y plaguicidas debe estar orientado tanto a los aspectos productivos como los ambientales y sociales.

4.10 Reciclamiento

La concentración de animales en condiciones de producción (ganadería de leche y carne, galpones de aves parrilleras y ponedoras y cría de porcinos) resulta en una significativa acumulación de residuos orgánicos como efluentes, estiércol, cama de pollo y otros. Estos residuos tienen alto valor nutricional y deben ser manejados para evitar problemas ambientales y sanitarios. Esos materiales son una fuente de nutrientes

para la misma explotación o explotaciones vecinas. El creciente número de estas explotaciones requiere del conocimiento e implementación de prácticas de manejo que deben considerar su valor en términos productivos y ambientales. Las investigaciones de los últimos años y las en curso en la región aportan al desarrollo de las MPMs de estas fuentes de nutrientes (Ciganda & La Manna, 2012; Domingo, Picone, Videla, & Maceira, 2013; Wyngaard, Videla, Picone, Zamuner & Maceira, 2012).

4.11 Inversión en investigación y desarrollo (I+D)

La inversión en I+D ha crecido, pero sigue siendo limitada en numerosas países de Latinoamérica. En el caso de Uruguay, es del 2 % del Producto Bruto Interno, en Brasil es algo menor al 2 % y en otros cinco países ésta se encuentran por arriba del promedio regional del 1% (CEAPAL-FAO-IICA, 2011). Los expertos sugieren una cifra del 2 % para países en desarrollo. Obviamente, las necesidades de respuesta a los numerosos desafíos requiere de inversión en I+D.

La investigación, y las instituciones que la generan, probablemente deban ser reestructuradas para encontrar visiones más holísticas que incluyan las comunidades y la sociedad y no solamente los actores agrícolas del proceso de producción, con equipos multidisciplinarios interactivos que aborden los problemas y desafíos del sistema integral y no de aspectos aislados (Jorgensen, 2012). Simultáneamente, deberían expandirse los sistemas de capacitación en todos los niveles.

4.12 Mirar a largo plazo

En la producción agrícola de la región, la dinámica de la demanda y las condiciones socio-económicas de la producción generan frecuentemente situaciones de coyuntura que inducen a una visión cortoplacista del sistema. Si bien es difícil escapar a estas situaciones, las prácticas de manejo y las acciones correspondientes presentan efectos residuales de importancia en componentes y procesos directamente e indirectamente involucrados con una práctica determinada. Un ejemplo claro, comentado en párrafos anteriores, es el de rotaciones de cultivos que aportan mayor cantidad de residuos y en el mediano o largo plazo pueden generar acumulaciones mayores de C. Estos efectos residuales, a mediano/ largo plazo, pueden ser positivos o negativos sobre los procesos y componentes del sistema o sobre la eficiencia de uso de los insumos y herramientas. Así, las MPM de la fertilización pueden mejorar y/o mantener la fertilidad del suelo y lograr alta eficiencia de uso de nutrientes, no sólo para el cultivo que se fertilice, sino también para los cultivos subsiguientes (García & González Sanjuan, 2013; Salvagiotti *et al.*, 2009). Sería recomendable que las investigaciones sobre el uso y manejo de recursos e insumos se enfocaran en objetivos de corto así como de largo plazo, para aumentar el conocimiento del funcionamiento del sistema y predecir desafíos y amenazas también a mediano y largo plazo.

5. Comentarios finales

La región del Cono Sur presenta condiciones agro-ecológicas inmejorables para el desarrollo de una agricultura sostenible, cuenta con recursos naturales y humanos de gran valor y enfrenta desafíos y oportunidades como los discutidos en este artículo y en muchos otros aspectos como logística, por ejemplo.

La agricultura sostenible requiere de la participación de toda la sociedad: productores, asesores, investigadores, instituciones oficiales, empresas, ONGs, consumidores, estados, etc. No se puede ser dogmático y los actores se deben preparar para responder a la dinámica de las demandas de la sociedad, las oportunidades del mercado y los desafíos del cambio climático, conociendo los procesos y mecanismos que gobiernan a los sistemas de producción en todas las escalas. Hablar con y escuchar a la sociedad/comunidad, comunicarse, educar y educarnos, es un proceso largo, pero que brindará muchos frutos. Estas demandas requieren de conocimientos y equipos interdisciplinarios y de inversión social y económica en el desarrollo de esos conocimientos y equipos.

Referencias

- Adámoli, J. (2013). *Producción y ambiente: Desafíos y oportunidades*. Paper presented at the Simposio Fertilidad 2013, Rosario, Argentina.
- Alvarez, C. (2013). Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: Caracterización, génesis y manejo. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 10, 2-9.
- Andriulo, A., & Cordone, G. (1998). Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la región pampeana húmeda. In J. Panigatti, H. Marelli, D. Buschiazzi, & R. Gil (Eds.), *Siembra directa* (pp. 65-96). Buenos Aires, Argentina: Ed. Hemisferio Sur.
- Barbieri, P., Echeverría, E., Saíz Rozas, H., & Andrade, F. (2008). *Nitrogen Use Efficiency in Maize as Affected by Nitrogen Availability and Row Spacing*. *Agrochimica*, 100, 100.
- Bayer, C., Dieckow, J., & Carvalho, P. C. F. (2010). *Uma síntese da pesquisa em sequestro de carbono e mitigação de Gases de efeito estufa em sistemas de produção agropecuária no sul do Brasil*. Paper presented at the Taller SUCS-ISTRO, Colonia, Uruguay.
- Bruulsema, T., Fixen, P., & Sulewski, G. (Eds.). (2013). *4R de la nutrición de plantas: un manual para mejorar el manejo de la nutrición de plantas*. Norcross, USA: IPNI, Traducción al español IPNI Argentina, Buenos Aires, Argentina.
- Buhaug, H., & Urdal, H. (2013). An urbanization bomb? Population growth and social disorder in cities. *Global Environmental Change*, 23, 1-10.
- Burney, J. A., Davis, S. J., & Lobell, D. B. (2010). Green- house gas mitigation by agricultural intensification. *PNAS*, 107(26), 12052-12057.
- Cano, J., Ernst, O., & García, F. (2006). Balance aparente de fósforo en rotaciones agrícolas del litoral oeste del Uruguay. *Informaciones Agronómicas Cono Sur*, 32, 8-11.

- Cassman, K. G. (1999). *Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 96, 5952-5959.
- Caviglia, O. P., & Andrade, F. H. (2010). *Sustainable intensification of agriculture in the argentinean pampas: capture and use efficiency of environmental resources*. The Americas J. Plant Sci. Biotech, 3, 1-18.
- CEAPAL-FAO-IICA. (2011). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2011-2012*. San José, Costa Rica: IICA.
- Ciganda, V., & La Manna, A. (2012). *Estudio sobre el potencial de contaminación de los sistemas intensivos de engorde bovino a corral sobre los recursos suelo y agua en el Uruguay*. Paper presented at the 1er. Congreso de la Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo, Montevideo, Uruguay.
- Cisneros, J. (2012). *Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo*: Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Agronomía y Veterinaria.
- Correndo, A., Boxler, M., & García, F. (2012). *Oferta hídrica y respuesta a la fertilización en maíz, trigo y soja en el norte de la región pampeana argentina*. Paper presented at the XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo- XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina.
- Dobermann, A., & Cassman, K. G. (2002). *Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia*. Plant Soil, 247, 153-175.
- Domingo, M. N., Picone, L., Videla, C., & Maceira, N. (2013). *Volatilización de amoníaco y emisiones de dióxido de carbono a partir de un sistema intensivo de producción de carne*. Cienc. Suelo, 31(1), 107-118.
- FAO. (2011). *Ahorrar para crecer. Guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenibles de la producción agrícola en pequeña escala* (pp. 102). Roma: FAO.
- FAO. (2013). FAOSTAT. Retrieved 2 de Agosto, 2013, from <http://faostat.fao.org>
- Frank, F. C., & Viglizzo, E. F. (2012). *Water use in rain-fed farming at different scales in the Pampas of Argentina*. Agricultural Systems, 109, 35-42.
- García, F., & González Sanjuan, M. F. (2013). *La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos?* Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 9, 2-7.
- Garnett, T., Appleby, M., Balmford, A., Bateman, I., Benton, T., Bloomer, P., Godfray, H. (2013). *Sustainable intensification in Agriculture: Premises and policies*. Science, 341, 33-34.
- Hall, A. J., C. Feoli, C., Ingaramo, J., & Balzarini, M. (2013). *Gaps between farmer and attainable yields across rainfed sunflower growing regions of Argentina*. Field Crops Research, 143(1), 119-129.
- Hill, M., & Clerici, C. (2011). *Planes de uso y manejo del suelo*. Revista INIA, 26, 48-52.
- Hoekstra, A., & Mekonnen, M. (2012). *The water footprint of humanity*. PNAS, 109, 3232-3237.
- Huber, D. M., & Graham, R. D. (1999). *The role of nutrition in crop resistance and tolerance to disease*. In Z. Rengel (Ed.), Mineral Nutrition of Crops

- Fundamental Mechanisms and Implications (pp. 205- 226). New York: Food Product Press.
- Jorgensen, R. A. (2012). *A vision for 21st century agricultural research*. Font. Plant Sci., 3, 157-160.
- Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Christopher, B. F. (2009). *Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and Causes*. Annual Review of Environment and Resources, 34, 4.1-4.26. doi: 10.1146/annurev. environ.041008.093740
- Magrin, G. (2013). *Impactos del cambio climático en América Latina: Vulnerabilidad y Adaptación*. Paper presented at the Jornadas de Conservación de Suelos, Buenos Aires, Argentina.
- Quinke, A., Sawchik, J., & Morón, A. (2010). *Siembra directa y rotación con pasturas: Efectos sobre carbono orgánico, nitrógeno total y potencial de mineralización de nitrógeno en un suelo agrícola del sudoeste de Uruguay*. Paper presented at the Taller SUCS-ISTRO, Colonia, Uruguay.
- Ray, D. K., Mueller, N. D., West, P. C., & Foley, J. A. (2013). *Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050*. PLoS ONE, 8(6). doi: 10.1371/journal.pone.0066428
- Sadras, V., Grassini, P., & Steduto, P. (2011). *Status of water use efficiency of main crops. SOLAW Back-ground Thematic Report - TR07* Retrieved from <http://www.fao.org/nr/solaw/thematic-reports/en/>.
- Sadras, V. O., & Angus, J. F. (2006). *Benchmarking water-use efficiency of rainfed wheat in dry environments*. Austr. J. Agric. Res., 57, 847-856.
- Sainz Rozas, H., Echeverría, H., & Angelini, H. (2012). Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y ExtraPampeana argentina. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 38, 33-39. Retrieved from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86423614007>
- Salado-Navarro, L., & Sinclair, T. R. (2009). Crop rotations in Argentina: Analysis of water balance and yield using crop models. *Agricultural Systems*, 102, 11-16.
- Salvagiotti, F., Castellarin, J. M., Miralles, D. J., & Pedrol, H. M. (2009). *Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake*. Field Crops Research, 113, 170-177.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., . . . Sirotenko, O. (2007). Agriculture. In B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, & L. Meyer (Eds.), *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, US: Cambridge University Press
- Snyder, C., Bruulsema, T., Jensen, T., & Fixen, P. (2009). *Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 133, 247-266.
- St. Clair, S., & Lynch, J. P. (2010). *The opening of Pandora's Box: climate change impacts on soil fertility and crop nutrition in developing countries*. Plant Soil, 335, 101-115.
- Studdert, G., & Echeverría, H. (2000). *Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics*. Soil Sci. Soc. Am. J., 64, 1496-1503.
- Sutton, M. A., Blecker, A., Howard, C. M., Bekunda, M., Grizzetti, B., de Vries, W., . . . Zhang, F. S. (2013). *Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution Global Overview of Nutrient*

*Management. Edingburgh, UK:*Centre for Ecology and Hydrology, on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative.

- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). *Global food demand and the sustainable intensification of agriculture*. PNAS, 108(50), 20260-20264.
- van Ittersum, M., Cassman, G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). *Yield gap analysis with local to global relevance? A review*. Field Crops Research, 143, 4-17.
- van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. Field Crops Res., 52, 197-208.
- Viglizzo, E. F., Frank, F. C., Carreño, L. V., Jobbágy, E. G., Pereyra, H., Clatt, J., Ricard, F. M. (2011). *Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina*. Global Change Biology, 17, 959-973.
- Vilella, F., & Renis, S. (2013). *La demanda actual y proyectada de alimentos: El rol del sector agropecuario y sus desafíos*. Paper presented at the Tercera Jornada del INBA: Aportes de la microbiología a la producción de cultivos, Buenos Aires, Argentina.
- Wheeler, T., & von Braun, J. (2013). Climate changes impacts on global food security. *Science*, 342, 508-513.
- Wyngaard, N., Videla, C., Picone, L., Zamuner, E., & Maceira, N. (2012). *Nitrogen dynamics in a feedlot soil*. J. Soil Sci. & Plant Nutr, 12(3), 563-574.